

火星にも温泉があった？

原始火星の環境をシミュレーションし、生命の可能性に迫る



執筆・野田夏実
大学院生／関根研究室

初期火星の水環境を題材に、生命を育む惑星の条件に迫るべく、数値計算や室内実験による研究を行っている。ELSIでは、研究室の垣根を超えて大学院生が発表しあうセミナーの運営も行っている。

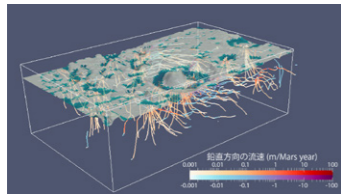
存在したかもしれない「火星温泉」

生命が誕生した地球は、他の天体と比べていったい何が特別だったのでしょうか？ 私は、この問いに興味があって、約40億年前の火星の環境を復元する研究を、ELSIの関根康人教授のもとで行っています。他の天体について地球と比較しながら研究することが、地球における生命誕生のプロセスを解明するために大変重要だからです。

その頃の火星には液体の水が存在していた痕跡が、河川地形や鉱物の形で残されています。生命の誕生や生存に適した環境だったかどうか注目され、その手がかりを得るため、当時の水質を記録する堆積物がNASAの火星探査車キュリオシティにより化学分析されました【図1】。

私の研究では、この探査で見つかったシリカ（二酸化ケイ素を主な成分とする物質）に注目し、これが化学成分を溶かした温泉のような環境を起源とするのではないかと仮説を検証しました。もし「火星温泉」があれば、そこは、地下の物質が地表の大気に触れて、化学的に非平衡な場所となるため、生命がエネルギーを得るのに有利な環境だったかもしれません。

さまざまな気候条件で地下水流をシミュレーションした結果、降雨量より蒸発量が多い乾燥条件で地下水が湧き上がり、湖を形成することが分かりました【図2】。また、地下水に岩石の成分が溶け込む化学反応を、模擬火星岩石を用いて再現する実験によって調べると、地下水のシリカ濃度が予想より高くなることが分



【図2】地下水循環シミュレーション結果の一例。上面は地表を表し、青い領域に水がたまっている。下部の曲線は地下水の流れに沿っており、赤色は上昇流、青色・紫色は下降流を表す。地下水の湧昇により湖ができる様子が見て取れる。



【図1】火星探査車キュリオシティ。2012年の着陸以降、数多くの写真や、周辺の堆積物の化学・鉱物データ等を地球に送り届け続けている。撮影地点付近で採取したドリルコアがシリカに富むことが近年報告された。（出典：NASA/JPL）

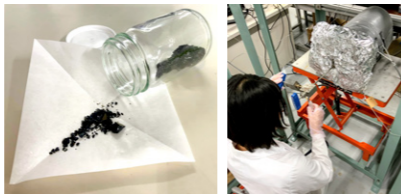
かり【図3】、シリカが地下から地表に運ばれて堆積した、つまり原始火星に温泉のような環境が存在したという仮説が支持されました。

単純な問いから広がった世界

私が「生命の起源」「生命誕生の条件」に迫る研究がしたいと思ったきっかけは、高校の時の生物の授業です。初回に突然「生き物とは何か？」と黒板に書かれ、この単純な問いに明確に答えられないことに衝撃を受けたのを覚えています。そこから生命科学に興味を持ち、多様な生物種の間で遺伝や進化の仕組みが驚くほど共通していることが面白く、国際生物学オリンピックに出場するまでにのめりこみました。

同じ頃に、キュリオシティの火星着陸成功が話題となり、火星の生命の探査や地球の生命の起源解明が国際規模で学術的に挑まれていることにワクワクしました。物理や宇宙への憧れもあって、大学から地球惑星科学の分野に飛び込み、今に至ります。

ELSIでは、世界中から同じ興味をいだいて集まった研究者や学生の皆さんに毎日刺激を受けています。最近では、微生物の研究をするチームと一緒に野外調査に行ったり、外国人研究者と飲み会やカラオケで盛り上がりつつもしています。今後も自分の興味に従って、惑星科学と生命科学をつなげられるような研究をすることが目標です。



【図3】実験に用いた模擬火星岩石（左）と熱水装置（右）。模擬岩石は、探査で得られた化学組成を再現するように薬品を配合して作成した。熱水装置は、内部を数か月単位で高温高圧に保ちながら、途中で溶液を採取することができる。

Origins

特集
研究の道を志す若者たちへ

2019.12.27
ELSI通信
vol.

7

東京工業大学
地球生命研究所



INTERVIEW

夢に対する具体的な ロールモデルに出会えた ことが背中を押した

小南 淳子

研究員【惑星形成論】

さまざまな国籍と経歴の研究者が集まる地球生命研究所（以下 ELSI）では、そのキャリアも十人十色です。今回は、第一線で活躍する研究者たちに、現在の研究に関心を持ったきっかけや経験について、若い方へのアドバイスとともに尋ねました。



「できない」で終わらせない 膨大な粒子数での力学計算に挑む

太陽系などの惑星系がどうやって形成されてきたのかをコンピューターシミュレーションで研究しています。具体的には、中心星となる太陽のまわりに粒子を円盤状にばらまいて、その粒子1つひとつの重力相互作用を「N体計算」という方法で時間積分し、粒子の軌跡を追っていくのです。

力の計算というのは、粒子の数がN個あると、必要な計算量がNの2乗で急激に増えてしまいます。そこで、スーパーコンピューターを利用するのですが、それでも計算にはさまざまな工夫が必要です。たとえば、結果の精度は高いけれど非常に時間がかかる計算方法や、要素をまとめることで計算は速いけれど

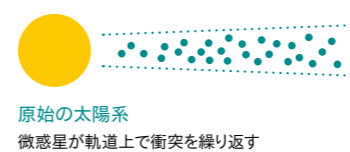
精度が少し落ちる計算方法などがあります。私の研究ではさらに、そうした手法の良い所取りができるような計算法の作成に取り組んでいるのです。

実は、私たちの太陽系がどのようにできたのかということは、現在はまだきちんと分かっていません。太陽の周りにガスや粒子が集まって、惑星が作られてきたとは言えるのですが、既存の理論では、たとえば海王星を現在の軌道上に形成できないといった問題があります。

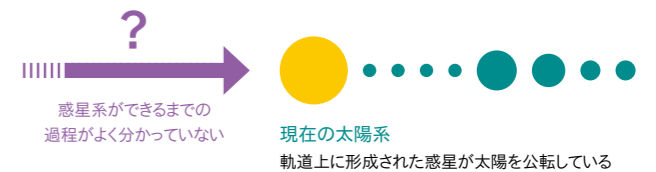
海王星を太陽から離れた軌道に形成するには、観測されている太陽系の年齢では時間が足りないのです。太陽系の内側で海王星がつかられ、外側に運ばれていったと示せるなら別ですが。一般に、惑星がエネルギーを奪われて中心星のある内側に落ちることはよく知られていますが、外側に移動して軌道を



太陽系は、太陽の周りに集まったガスとちりが衝突を繰り返し、惑星を形成していったと考えられている。しかし、その形成過程の具体的な姿はまだ分かっておらず、いくつかの謎が残されている。



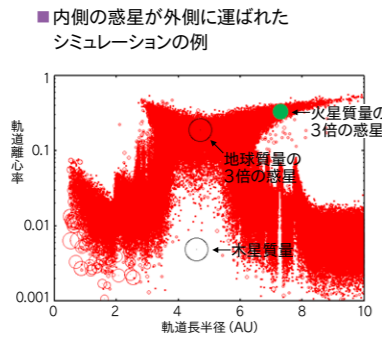
原始の太陽系
微惑星が軌道上で衝突を繰り返す



惑星系ができるまでの過程がよく分かっていない

現在の太陽系
軌道上に形成された惑星が太陽を公転している

粒子数を約57万で計算した例。赤い円の1つひとつが微惑星を表し、質量に応じて径が大きくなる。縦軸は円軌道からのずれの大きさ、横軸は太陽からの距離。緑色の天体は、黒丸の天体の軌道の内側で形成され、それらの天体の重力の影響で外側に飛ばされたもの。



→ 保つということはなかなか難しいと考えられています。

ところが、シミュレーションする粒子数を増やしていくと違った結果が出る可能性があります。1万体の粒子でやっていた計算を、10万、30万に増やす。すると、小さい粒子の相互作用が効いて、流体のような振る舞いが現れ、大きな惑星がスーッと外側に動いていくことがあると分かりました。

これまでは、コンピューターシミュレーションの粒子を増やそうとした人は少なく、計算できる粒子数を制限した上で、惑星系の形成過程を段階ごとに分割して計算していく研究がほとんどです。しかし、「計算できない」で終わらせず、実際にやってみようというのが私たちの研究なのです。

計算方法を考える上では、衝突で破片が飛び散ってNが増える場合をどう考えるか、実際の惑星に残された化学的な痕跡から何が推測できるかなど、さまざまなことを考えます。

粒子は複雑に相互作用しているため、同じ粒子数でも最初の配置が少し違えば結果が大きく変わってしまう場合があります。つまり1億体の粒子から8個の惑星系が再現できたというだけではダメで、さまざまな初期条件からの結果で統計を取って、その妥当性を示さなければならないのです。膨大な計算を、何度も行う必要があるという点で、計算プログラムの開発がとても重要なのがお分かりいただけると思います。

たくさんの粒子を速く計算できるプログラムの開発に取り組み、現在は、数十万～数百万体の計算を行っています。最終的には、たとえば1億体の小惑星や天体から8個の惑星になるまで、途切れなく計算したシミュレーションを実現したいと考えています。また、近年は太陽系の外側でもふしぎな惑星がたくさん見つかってきています。「こんな惑星系があるのか!？」と驚くような事例が、今後いっそう増えていくはず。そうした惑星系も、自分たちのシミュレーションで説明できるかもしれないと考えワクワクしますよね。今後もこの研究は、どんどん面白くなっていくと思っています。

悔しさをバネに勉強に励むなか 宇宙への関心につながった先生と出会う

宇宙の研究に関心を持ったのは、高校時代に出会った物理の先生がきっかけでした。私は、父の転勤についていく形で、高校の3年間をニューヨークで過ごしました。ロングアイランド

という小さな島で、非常に治安の良い場所です。でも、部活に入ろうとしたら「あなたは入れないよ」と言われてしまうほど閉鎖的な面もある地域でした。英語のバリアもあって「スラスラ話せないバカな人」だとも言われました。当時、私が勉強を頑張り始めたのは自分の居場所を確保するためでもあったのです。数学では一番を取ることができましたし、家ではニュースを後追いで話す練習をして、英語の力をつけました。後に、クラスメイトの一人が私のことを「あの子、内向的だけど話せないわけじゃないし、考えも持っているみたいよ」と言ったのを聞いて、そう思われているなら問題ないと思いましたね。

そんなふうに、周囲にバカにされまいと勉強していたなかで、物理の先生には、改めて勉強の楽しさを教わることができました。宇宙の面白い話もたくさん聞きましたし、あるときは「過去にどんな太陽系の探査があったか、その歴史を自分で調べてまとめなさい」と言われ、図書館に通ってレポートをまとめました。年代を追って、さまざまな発見や失敗があって、それが積み重なっていく過程がとても興味深くて、自分で調べる楽しさを導いてもらったと思います。

自分の関心事以外も幅広く学ぶことが 将来の自分の力になる

日本で帰国子女として大学受験しましたが、実は『ブラックジャック』を読んで医師に対する憧れも持っていたので、医科大も受けていました。受験日が最後だった東工大と、両方に合格できたことで、医師になるか、物理を学んで宇宙を研究するか、本当に迷いました。とても迷ったすえに、東工大を選んだのですが、そこは夢に対する具体的なロールモデル、漫画のキャラクターと、実際に出会った先生との差があったと思います。最後は宇宙に対する興味が勝りました。

研究の道に入ってから、出産前後でのペースダウンなど、さまざまな苦労がありました。でも、若い皆さんへ共通してアドバイスできるのは、できるだけ幅広い分野の勉強をしておいた方が良いということです。たとえば、惑星科学のスケールでは量子力学は直接的に関係しないのですが、そうした異分野への理解がヒントになったり、研究の材料となることが少なからずありました。自分の研究と関連性のある分野は、日々の研究でも自然と触れる機会がやってくるのですが、一見して関連性の薄い分野を学んでおくと、研究の幅が広がり、自分の興味も広がります。そこから、あるとき一気に飛躍するチャンスが訪れるのです。ですから、自分の関心とは異なる分野にも積極的に触れてみてください。



小南 淳子

研究者。太陽系の形成過程を、コンピューターシミュレーションによって調べている。原始惑星系円盤の重力が地球型惑星の形成にどう影響し、円盤外縁部の微惑星集積がどう作用するのか、スーパーコンピューターで大規模並列コードによるN体計算を行い、既存の研究にはない高解像度の計算アプローチで惑星系の形成を紐解こうとしている。

自分が夢中になれることは何かを理解し、
周りに流されず自分を信じて行動することが
やがて大きな力になると思います。

Harrison B. Smith

研究者 [宇宙生物学]

私は、初期地球における生命の化学ネットワークについて、コンピューターシミュレーションによる研究をしています。すべての生命現象は化学反応の連鎖ととらえることができます。しかし、そこには構造があり、無生物の化学反応とは異なる点が存在します。多様な化学反応系をコンピューターで再現し、図式化することで、生命の生体システムのパターンを可視化し、生命と非生命環境の違いを探っています。

高校時代はミシガン州の北中部の公立学校で学びました。インド人もいるし、アフリカ系アメリカ人もいる、多様性に富んだ素晴らしい環境でした。世界には異なる文化があり、人それぞれの人生の歩み方があるということを、このときに肌で学ぶことができたと思います。

私自身は物心がついたときから科学に関心があったと思います。ただし、科学だけが好きということではなく、歴史や政治にも興味があったし、関心を持ったら何でも学びたい性格なのです。科学は、疑問を投げかけると何らかの答えを得ることができるという点で、特に私の興味を引いたのだと思います。

大学院では、生命の起源や系外惑星を研究しているアドバイザーに出会いました。そのとき、生命とは何か、どんな特徴があれば生命と考えられるのかなど、さまざまな疑問を探求したり多様なものの見方を学びたい気持ちになり、とてもワクワクしたのを覚えています。進路を決める上で、エンジニアになるか、研究者になるか、とても悩んだ時期がありましたが、大学院の経験から、疑問の答えを探し続ける研究の仕事が自分には向いていると考えました。

人生で大切なことを決断する難しさは、誰もが同じだと思います。一度目標を決定したら、努力を維持して、必死に突き進むしかありません。進路は、将来の収入額や誰かに勧められたという理由で決めるものではなく、自分が好きなことを追求することが大切だと思います。

未来に向かう若者たちへ 研究者からのメッセージ

ELSIの第一線で活躍する研究者たちは、
どのように歩んできたのでしょうか。
また、節目節目での重要な選択をどう行ってきたのでしょうか。

どんな環境になっても自分自身で
課題や興味がわくことを見つける力があれば
道をひらいていけるはずですよ。

梅本 幸一郎

研究者 [計算地球物理]

たと思います。実際、研究室の環境などは入らないと分からないことも多いですね。「運の良さ」は自ら求めてもどうにもできないわけで、じゃあ何を基準に物事を決めるといったら、まずは自分の好きなことに飛び込むしかない。だからこそ、どこにいても、自分で興味がわくことや課題を見つけ出す力が大切です。

そうした力をどう養うか。私から若い方に勧めるなら、物理や数学に取り組むことです。問題の解法パターンを覚えるような勉強ではなく、公理や原理から深く掘っていける応用力を身につけてほしい。自分で課題を見つけ、考えていく力は研究に絶対必要ですし、物事の「バックグラウンドをつかむ能力」があれば、きつとどんな仕事でも通じるはずだと思います。



実験室で再現できないような高圧環境での物質のようすをコンピューターの計算で探っています。現在のテーマは2つ。1つは軽元素が入っている液体鉄金属について。地球の外核は液体の鉄合金といわれていますが、地震波で観測すると純粋な鉄より密度が軽いことが分かっているので、その組成を探っています。もう1つは、地球より数倍重い惑星内部の高圧下で物質がどのように相転移するのかを調べています。

高校時代から理数系は得意でしたが、研究者を目指していたというよりは、物理学への漠然とした興味があったという感じでした。大学4年で研究室を決めるとき、素粒子系の研究室を希望したのですが、人気が高く、ジャンケンで負けて物性理論の研究室に入りました。そこで、研究室の教授や先輩の指導を受けているうちに、だんだん物性が面白くなってきたんです。学部から博士課程までは東工大にいて、その後、イタリア、アメリカで学ぶうちに地球惑星物理学の道が決まりました。だから私は、その時々で夢中になることをやってきたという感じなのです。

私自身は教授や周囲の人との出会いにいつも恵まれ、好きにやらせてもらえることが多かつ